نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۵۸-۴۴۷

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 447-458

کمّی‌سازی نمو برگ در ارقام مختلف گندم: I- تولید و زوال برگ‌های ساقه اصلی در شرایط مزرعه

جعفر پوررضا[1*]- افشین سلطانی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۰۴

چکیده

یکی از اجزای اصلی مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی، نمو سطح برگ است که اثر بسیار مهمی روی فتوسنتز و تعرق گیاهی دارد. نمو سطح برگ شامل ظهور برگ‌های جدید، توسعه برگ‌های سبز شده و پیری برگ‌های مسن است. به منظور تعیین پارامترهای مربوط به تولید و زوال برگ در ارقام گندم دو پژوهش مزرعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رامهرمز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در طی دو سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۸۷-۱۳۸۶ اجرا شد. ارقام مورد استفاده شامل اترک، بیات، چمران، چناب، دز، اینیباء، کویر، مرودشت، شیراز، استار، شوا-مالد (کرخه)، ویریناک، یاواروس، زاگرس و لاین S78-18 بودند. آزمایش در شرایط عدم محدودیت آب و مواد غذایی انجام گرفت. برای توصیف تغییرات تعداد برگ در ساقه اصلی در مقابل درجه-روز رشد از یک مدل دو تکه‌ای استفاده شد. نتایج نشان داد که تولید برگ در ساقه اصلی با دریافت ۱۰۸/۵ درجه-روز رشد پس از کاشت در ارقام گندم آغاز شد و به‌صورت خطی و با سرعت متوسط ۰/۰۱۲ برگ بر درجه-روز رشد (فیلوکرون ۸۳ درجه-روز رشد) افزایش یافت. زمان توقف تولید برگ با توجه به اختلاف معنی‌دار بین ارقام در دامنه‌ی ۷۳۷/۵ تا ۸۵۶/۵ درجه-روز رشد زمانی که بوته حدود ۱۰-۹ برگ در ساقه اصلی داشت، اتفاق افتاد. پیری برگ در ساقه اصلی زمانی آغاز شد که ساقه اصلی دارای ۶-۴ برگ بود و پس از این مرحله به ازای هر واحد افزایش در درجه-روز رشد، ۰/۰۰۰۶۵ از برگ‌های ساقه اصلی زوال یافتند. روابط به‌دست آمده از این مطالعه را می‌توان در مدل‌های شبیه‌سازی گندم استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: درجه روز رشد، ظهور برگ، کسر برگ پیر شده، مدل‌سازی، مرحله برگی هان

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین گیاه زراعی جهان است که برای تولید عملکرد مناسب، پایدار و برنامه‌ریزی شده در آن جنبه‌های مختلفی نیاز به بررسی دارند (Sinclair and Jamieson, 2006). پیش‌بینی تولید و زوال برگ به پیش‌بینی ظهور و دوره توسعه برگ‌ها، سطح برگ تجمعی و انفرادی و پیری برگ‌های انفرادی ارتباط دارد. پیش‌بینی ظهور برگ یک بخش مهم از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است زیرا ظهور برگ تنها در رابطه با زمان‌بندی مراحل فنولوژیکی مشخص نیست بلکه در رابطه با گسترش سطح برگ می‌باشد که برای جذب نور، تجمع ماده خشک و عملکرد دانه با اهمیت است (McMaster and Wilhelm, 1997). در غلات ظهور برگ اغلب با استفاده از روش فیلوکرون شبیه‌سازی می‌گردد. فیلوکرون[3] (هم بر اساس روزهای تقویمی ولی اغلب به‌عنوان حرارتی (°C.day)) به‌عنوان زمان بین ظهور نوک برگ‌های متوالی تعریف شده است (McMaster and Wilhelm, 1997). روش فیلوکرون در بسیاری از مدل‌های رشد و نمو مثل CERES-WHEAT (Ritchie, and Otter, 1985) و CERES-MAIZE (Kiniry, 1991) استفاده شد. فیلوکرون به‌طور گسترده توسط مدل‌سازان به‌عنوان شاخصی مناسب برای پیش‌بینی نمو گیاه پذیرفته شده است و می‌تواند به‌عنوان تأمین‌کننده زمان مناسب مدیریت‌هایی همچون مصرف کود و کاربرد آفت‌کش‌ها از طرف تولیدکنندگان مهم باشد (Streck *et al.*, 2003). در بررسی ارقام گندم زمستانه گزارش شد که فاصله فیلوکرون بین ارقام متفاوت بود، در مواقع خشکی، دمای کنوپی (سایه‌انداز) برای طیفی از گونه‌ها افزایش یافت و وقتی

۱- استادیار، گروه کشاورزی، واحد رامهرمز، دانشگاه آزاد اسلامی، رامهرمز، ایران
۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: Email: J_Pourreza@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.65321

3- Phyllochoron

تنش توسعه پیدا کرد، روزنه‌ها بسته شدند و تعرق در نتیجه افزایش در دمای برگ و کانوپی کاهش یافت (Baker *et al.*, 1986). درجه- روزهای رشد مورد نیاز برای تولید یک برگ یک پارامتر مهم در بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهی است (Baker *et al.*, 1986). در مقایسه با تحقیقات انجام شده روی تولید سطح برگ به‌طور نسبی تحقیق اندکی در زمینه پیری برگ انجام شده است و مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی در این زمینه ناقص هستند (Volk and Bugbee, 1991). عمومی‌ترین روش برای توصیف پیری برگ، پیری سطح برگ به‌عنوان تابعی از پیشرفت زمان یا زمان حرارتی است. پیری برگ در گیاه معمولاً با پیری برگ در ساقه اصلی ارتباط دارد (Robertson *et al.*, 2002; Soltani *et al.*, 2006). در گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.)، کسر برگ‌های پیر در ساقه اصلی (نسبت برگ‌های پیر ساقه اصلی به کل برگ‌ها) در مقابل روز حرارتی و روز بیولوژیکی قرار دادند و بر اساس یافته‌های این پژوهش پیری برگ بر روی ساقه اصلی بعد از ۱۵ روز بیولوژیک (معادل ۳۶ روز حرارتی، ۷۵۶ درجه روز رشد و حدود ۱۲ گره روی ساقه اصلی) شروع شد و با روند ۱/۶۷ درصد افزایش در هر روز بیولوژیک پیش رفت (Soltani *et al.*, 2006).

پیش‌بینی دقیق تر مراحل نموی و برآورد بهتر عملکرد و نیز امکان اعمال مدیریت‌های زراعی صحیح با شناختی که از تولید و پیری برگ‌ها حاصل می‌گردد به پژوهشگران اصلاح نباتات کمک می‌کند تا از این ویژگی‌ها در به‌کارگیری صفات مطلوب استفاده نمایند. به منظور بهبود قابلیت‌های مدل‌سازی گندم، بررسی پارامترهای مربوط به تولید و پیری برگ در ارقام مختلف گندم در محیط‌های گرم و نیز کمّی‌سازی تولید و پیری برگ و ارزیابی پایداری پارامترهای مربوط به تولید و پیری برگ در این شرایط، این پژوهش هدفمند شده تا به بررسی پارامترهای مربوط به تولید و زوال برگ در ارقام مختلف گندم مورد مطالعه در شرایط گرم بپردازد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رامهرمز در شهرستان رامهرمز به اجرا درآمد. این مزرعه در مکانی با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۵۱ متری از سطح دریا قرار گرفته است. این منطقه بر اساس آمار بلند مدت ۳۰ ساله دارای متوسط بارندگی سالانه ۳۲۰ میلی‌متر، متوسط تشعشع روزانه ۱۹/۱ مگاژول بر متر مربع در روز و حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه به‌ترتیب ۲۷/۱ و ۱۹/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در طی دو سال انجام شد. ارقام مورد بررسی شامل ۱۵ رقم گندم بهاره و حدواسط (دز، چمران، زاگرس، ویریناک، کویر، اترک، بیات، شیراز، شوا مالد (کرخه)، یاواروس، مرودشت، چناب، اینییاء و استار و S78-18) بودند، این ارقام دارای کلاس‌های رسیدگی متنوع هستند و جهت بررسی گسترده‌تر ضرایب و پارامترهای مربوط به تولید و پیری برگ انتخاب شدند. طول کرت‌های آزمایش شش متر و فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و هر کرت شامل شش ردیف خط کشت بود. فاصله بین تکرارها ۱/۵ متر اعمال گردید. همه کرت‌ها در یک تراکم ثابت ۴۰۰ بذر در متر مربع کشت شدند. قبل از کاشت، بذرها با سم کربوکسی تیرام به میزان دو در هزار ضدعفونی شدند. کاشت بذر به‌صورت دستی انجام شد. تاریخ کاشت در سال اول نهم آذر ماه و در سال دوم چهارم آذر ماه بود. چون آزمایش در شرایط عدم محدودیت آب و عناصر غذایی، آفات و علف‌های هرز انجام می‌شد، در مراحل مختلف با توجه به نیاز آبی در مواقع لزوم آبیاری انجام شد. ثبت مراحل فنولوژیک به روش زادوکس (Zadoks *et al.*, 1974) هر سه روز یک بار انجام شد. برای ثبت مراحل فنولوژیک از هر رقم در هر کرت، ۱۰ بوته به‌عنوان شاخص ثبت مراحل فنولوژیک تعیین و علامت‌گذاری شدند. در هر کرت و رقم، تاریخی که در آن مراحل فنولوژیک مورد نظر در بیش از ۵۰ درصد بوته‌های علامت‌گذاری شده مشاهده شد؛ به‌عنوان زمان وقوع آن مرحله‌ی فنولوژیک برای آن رقم ثبت شد. واحدهای حرارتی روزانه (درجه-روز رشد، GDD[1]) از دمای حداکثر (T_{MAX}) و دمای حداقل روزانه (T_{MIN}) بر اساس معادله ۱ تعیین شدند:

$$GDD=((T_{MIN}+T_{MAX})/2)-T_{base} \quad (معادله ۱)$$

که در این پژوهش T_{base}، دمای پایه یا حداقل گندم برای جوانه‌زنی، با توجه به اینکه ارقام مورد نظر همه ارقام بهاره هستند، چهار درجه سلسیوس در نظر گرفته شد (Slafer and Savin, 1991; Slafer and Rawson, 1995; John *et al.*, 1999; Schulz *et al.*, 2005). در این فرمول در صورتی که دمای حداکثر روزانه بیشتر از ۳۰ درجه سلسیوس باشد برابر با ۳۰ و در صورتی که دمای حداقل روزانه از چهار درجه سلسیوس کمتر باشد برابر با چهار در فرمول قرار داده می‌شود. به منظور تعیین تعداد برگ‌های سبز، زرد و پیر شده روی ساقه اصلی در مراحل[2] پنجه‌زنی (۴۱ روز)، ساقه‌رفتن (۸۳ روز)، ظهور برگ پرچم (۹۰ روز)، سنبله رفتن (۱۰۳ روز)، شروع گرده‌افشانی (۱۰۵ روز)، تکمیل گرده‌افشانی (۱۱۳ روز) و رسیدگی فیزیولوژیک (۱۴۰ روز) تعداد برگ‌های سبز؛ زرد و پیر شده برای هر رقم در هر سال اندازه‌گیری شدند. تمام اندازه‌گیری‌ها روی نمونه گیاهی شامل ۱۰

1- Growing Degree Days

۲- اعداد داخل پرانتز متوسط روز از کاشت تا مرحله مورد نظر در دو سال آزمایش هستند.

بوته که از یک نمونه بزرگ‌تر ۲۰ تایی انتخاب شده بودند، صورت گرفت. یک برگ زمانی زرد و پیر شده در نظر گرفته می‌شد که ۵۰ درصد یا بیشتر از سطح آن زرد شده باشد.

در اوایل فصل رشد ۱۰ بوته از ابتدای خط وسط هر کرت با نوارهای رنگی علامت‌گذاری شدند. بسته به وضعیت رطوبتی خاک جهت ورود به مزرعه هر چهار یا هفت روز یکبار از زمان سبز شدن تا مرحله ظهور لیگول برگ پرچم، تعداد برگ ساقه اصلی روی بوته‌های مشخص شده تعیین و طول دو برگ جوان انتهایی واقع در ساقه اصلی با خط‌کش اندازه‌گیری و مرحله برگی (Haun Stage) بر اساس روش هان (Haun, 1973) بر اساس معادله ۲ برای هر رقم و در هر مرحله محاسبه شد:

$$HS=(a-1)+(b/c) \qquad \text{(معادله ۲)}$$

که در آن a تعداد برگ قابل مشاهده روی ساقه اصلی، b طول جوان‌ترین برگ (سانتی‌متر) و c طول دومین برگ جوان هستند. علاوه بر تعیین مرحله برگی، تغییرات تعداد برگ در ساقه اصلی در مقابل درجه–روز رشد تجمعی (Cd) با استفاده از مدل رگرسیون غیر خطی دوتکه‌ای بر اساس معادله ۳ توصیف شد. مدل غیر خطی دوتکه‌ای دارای دو خط متقاطع است که شیب خط در قسمت اول نشان‌دهنده افزایش در تعداد برگ و خط افقی نشان‌دهنده حداکثر تعداد برگ در ساقه اصلی است (Robertson *et al.*, 2002; Soltani *et al.*, 2006):

$$y = a + bx \quad \text{اگر} \quad x \le x_0 \qquad \text{(معادله ۳)}$$
$$y = a + bx_0 \quad \text{اگر} \quad x > x_0$$

که در آن y تعداد برگ در ساقه اصلی (مرحله برگی ساقه اصلی یا واحدهای مقیاس هان)، x درجه–روز رشد تجمعی پس از کاشت، a عرض از مبدأ (محل قطع محور y)، b سرعت ظهور برگ در ساقه اصلی و x_0 درجه–روز رشد تجمعی پس از کاشت است که در آن تولید برگ در ساقه اصلی خاتمه می‌یابد و $a + bx_0$ حداکثر تعداد برگ در ساقه اصلی را نشان می‌دهد. از معادله ۳ همچنین برای به‌دست آوردن زمان خاتمه مؤثر برگ در ساقه اصلی و حداکثر تعداد برگ در ساقه اصلی استفاده شد. به منظور بررسی پیری برگ در ساقه اصلی، کسر برگ پیر در ساقه اصلی در مقابل درجه–روز رشد تجمعی بر اساس معادله ۴ برازش داده شد (کسر برگ پیر در ساقه اصلی، نسبت تعداد برگ پیر به کل برگ در ساقه اصلی است) (Robertson *et al.*, 2002; Soltani *et al.*, 2006):

$$y = 0 \quad \text{اگر} \quad x \le x_0 \qquad \text{(معادله ۴)}$$
$$y = b\,(x - x_0) \quad \text{اگر} \quad x > x_0$$

که در آن y کسر برگ‌های پیر در ساقه اصلی، x درجه–روز رشد تجمعی پس از کاشت و x_0 (نقطه چرخش منحنی) زمان شروع مرحله پیری در ساقه اصلی بر حسب درجه–روز رشد و b سرعت افزایش این کسر به ازای هر واحد افزایش در درجه–روز رشد می‌باشد. تجزیه و تحلیل آماری بر اساس توابع ریاضی بین متغیرهای محیطی و پارامترهای تولید و زوال برگ با استفاده از روش PROC NLIN در برنامه آماری SAS انجام شدند (Soltani, 2007). در مواقع ضروری، از روابط و توابع مناسب برگرفته از گزارش‌های تحقیقاتی منتشر شده استفاده شد (Robertson *et al.*, 2002; Soltani *et al.*, 2006; Hamer *et al.*, 1993) زمانی که رابطه مناسبی وجود نداشت رابطه مورد نظر از طریق زیر به‌دست آمد: (۱) مشاهده منحنی پراکنش بین دو متغیّر مورد نظر، (۲) برازش توابع امیدبخش به داده‌ها، و (۳) انتخاب مناسب‌ترین تابع بر اساس سادگی و معیارهای آماری از قبیل ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE[1]). بر این اساس به منظور ارزیابی نکوئی برازش مدل‌های مختلف، هرچه مقدار RMSE محاسبه شده کمتر و R^2 بیشتر باشد، دقت مدل در پیش‌بینی بیشتر است. R^2 درصد تغییرات در تعداد برگ در ساقه اصلی و کسر برگ پیر شده در ساقه اصلی را نشان می‌دهد که به‌وسیله درجه روز رشد توجیه می‌شود؛ هرچه R^2 بیشتر باشد نشان‌دهنده این است که مدل درصد تغییرات در تعداد برگ در ساقه اصلی و کسر برگ پیر شده در ساقه اصلی را به‌وسیله درجه روز رشد بهتر توجیه می‌کند. در صورت امکان، به جای اینکه به تک تک تیمارها معادله جداگانه‌ای برازش داده شود، به کل داده‌ها یا بخشی از داده‌ها یک معادله یکسان برازش داده شد. تفاوت پارامترهای مدل در بین تیمارهای مختلف با استفاده از حدود اطمینان ۹۵ درصد برآورد پارامترهای مدل، مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی تفاوت پارامترها از آماره‌ی خطای معیار میانگین (SE[2]) استفاده شد رسم نمودارها با برنامه Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

تولید برگ در ساقه اصلی

تغییرات تعداد برگ در ساقه اصلی در مقابل درجه–روز رشد تجمعی با استفاده از مدل رگرسیون غیر خطی دوتکه‌ای (مدل ۳) توصیف شد. برازش رگرسیون مرحله برگی هان (Hs[3]) در مقابل درجه–روز رشد تجمعی در تیمارهای آزمایش در شکل ۱ آمده است. اختلافات در سرعت ظهور برگ بین ارقام در سال اول و دوم آزمایش معنی‌دار نبود (داده‌ها نشان داده نشدند). به‌طور متوسط سرعت ظهور برگ (b) بر حسب همه ارقام و دو سال آزمایش دارای مقدار ثابتی بود و در دامنه ۰/۰۱۱۱ تا ۰/۰۱۲ برگ به ازای هر درجه–روز رشد قرار

1-Root Mean Squares Error
2- Standard Error
3- Haun Stage

داشت (جدول ۱). فیلوکرون عبارت است از عکس سرعت ظهور برگ ($1/b$) در فواصل زمان حرارتی بین ظهـور بـرگ‌هـای متـوالی اسـت (Kerby, 1988; Klepper *et al.*, 1982) بر اساس نتایج بـه‌دسـت آمده از سرعت ظهور برگ، مقادیر فیلو کرون بر حسب همه ارقام و دو سال آزمایش در دامنه‌ای از ۸۳ تا ۹۰ درجـه–روز رشـد بـود. اخـتلاف زمان توقف تولید برگ مؤثر در ساقه اصـلی (x_0) بـین ۱۳ رقـم از ۱۵ رقم در دو سال معنی‌دار نبـود (جـداول ۱ و شـکل ۱) و مقـدار آن در دامنه ۷۱۵ تا ۷۴۵ درجه–روز رشد بود. مقدار ایـن پـارامتر در دو رقـم دیگر یعنی شیراز و استار در هر دو سال آزمایش بیشتر از سـایر ارقـام بود (جدول ۱) و به‌طور متوسط بر حسب ۲ رقم و دو سال آزمـایش در محدوده ۸۳۱ تا ۸۵۲ درجه–روز رشد بود. زمان توقف تولید برگ مؤثر در ساقه اصلی در سال اول حدوداً ۴٪ در مقایسه با سال دوم کمتر بود (داده‌ها نشان داده نشدند).

جدول ۱- پارامترهای مدل برازش داده شده به داده‌های تعداد برگ در ساقه اصلی (مرحله برگی هان ساقه اصلی) در برابر درجه روز رشد (معادله ۳) برای ارقام مختلف گندم در دو سال آزمایش (داده‌های دو سال ادغام شدند). a عرض از مبدأ، b سرعت ظهور برگ در ساقه اصلی، x_0 زمان اتمام تولید برگ در ساقه اصلی، MAXL ($a+bx_0$) حداکثر تعداد برگ در ساقه اصلی، phyl عکس سرعت ظهور برگ‌ها (فیلوکرون)، n تعداد مشاهدات، R^2 ضریب تبیین، RMSE جذر میانگین مربعات خطا، SE خطای معیار و CV ضریب تغییرات هستند.

Table 1- Parameters of the model fitted to Haun scale units (leaf stage on main stem) vs. Growing degree-days (see Eq. 3) for different wheat cultivars at two experiments (data were polled in the 2005-2007 experiments). a, intercept; b, leaf appearance ($a+bx_0$), maximum leaf rate on main stem (leaf/°C d); x_0, the time of cessation of the linear increase in leaf number; MAXL number on main stem; phyl, 1/b(phyllochron); n, number of observation; R^2, Coefficient of determination; RMSE, Root Mean Squared Error; SE, standard error and CV, coefficient of variation.

SE±a	SE±b	SE±X_0	MAXL	phyl	RMSE	CV%	R^2	n	Cultivar ارقام
0.06±-0.11	0.00047±0.0121	24.9±730.0	8.73	82.6	0.44	8.1	0.99	13	Atrak اترک
0.05±-0.11	0.00045±0.0121	23.0±735.5	8.79	82.6	0.42	8.0	0.99	13	Bayat بیات
0.05±-0.15	0.00048±0.0119	25.6±736.0	8.61	84.0	0.45	8.3	0.99	13	Chamran چمران
0.07±-0.14	0.00044±0.0120	23.1±735.0	8.68	83.3	0.40	7.5	0.99	13	Chenab چناب
0.05±-0.16	0.00045±0.0118	23.3±739.0	8.56	84.7	0.41	7.6	0.99	13	Dez دز
0.06±-0.11	0.00047±0.0121	24.4±738.0	8.82	82.6	0.44	8.2	0.99	13	Ineia اینییاء
0.06±-0.11	0.00049±0.0111	29.0±715.0	7.83	90.1	0.46	9.5	0.99	13	Kavir کویر
0.04±-0.12	0.00047±0.0118	24.5±737.0	8.58	84.7	0.42	8.0	0.99	13	مرودشت
0.05±-0.18	0.00045±0.0117	24.0±738.0	8.45	85.5	0.42	7.9	0.99	13	S78-18
0.05±-0.14	0.00049±0.0120	26.2±734.0	8.67	83.3	0.46	8.5	0.99	13	Shoa شوا
0.07±-0.16	0.00046±0.0119	24.3±745.0	8.71	84.0	0.42	8.8	0.99	13	Vienak ویریناک
0.06±-0.17	0.00047±0.0111	27.3±730.0	7.93	90.1	0.44	8.1	0.99	13	Yavarous یاواروس
0.06±-0.17	0.00047±0.0120	24.8±737.0	8.66	83.3	0.44	8.2	0.99	13	Zagrous زاگرس
0.04±-0.167	.00074±0.0120	15.9±737.5	8.69	83.3	0.48	8.7	0.99	169	مجموع داده‌ها Total data
0.15±-0.30	0.00041±0.0119	30.6±852.0	9.84	84.0	0.44	8.1	0.99	13	Shiraz شیراز
0.14±-0.35	0.00042±0.0121	31.9±831.0	9.90	84.0	0.45	8.3	0.99	13	Star استار
0.14±-0.39	0.00029±0.0120	21.5±856.5	9.89	83.3	0.42	7.9	0.99	26	مجموع داده‌ها Total data

با برازش معادله ۳ مقدار R^2، CV و RMSE برای همه ترکیبـات (سال و رقم) در دامنـه‌ی ۶/۹–۱/۴، ۰/۹۹ و ۰/۳۷–۰/۱۷ و همچنـین دو سـال آزمـایش ۸/۸–۷/۵، ۰/۹۹ و ۰/۴۸–۰/۴۰ بـود. بـا بـرازش معادله فوق به ۱۳ رقم از ۱۵ رقم (ادغام ارقام و ۲ سال) مقـدار CV، R^2 و RMSE بـه‌ترتیـب ۸/۷، ۰/۹۹ و ۰/۴۸ و در دو رقـم باقیمانـده (رقم استار و رقم شیراز) مقدار ضـرایب فـوق بـه‌ترتیـب ۷/۹، ۰/۹۹ و ۰/۴۲ بود (جدول ۱). با توجه به اختلاف مشاهده شـده بـین ارقـام در زمان توقف تولید برگ مؤثر در ساقه اصلی همان‌گونه که در شـکل ۱ نشان داده است و عدم اختلاف معنی‌دار بـین ۱۳ رقـم از ۱۵ رقـم در ضرایب معادله برای این ۱۳ رقم، با ادغام داده‌های دو سال آزمایش و ۱۳ رقم یک معادله جداگانه بر اساس معادله ۵ برازش گردید:

$y = -0.16+0.0120x$ اگر $x \leq 737.5$ (معادله ۵)

$y = 8.69$ اگر $x > 737.5$

برای دو رقم دیگر نیز با ادغام داده‌های سال و رقم معادلـه ۶ بـه صورت زیر به‌دست آمد:

$y = -0.39+0.0120x$ اگر $x \leq 856.5$ (معادله ۶)

$y = 9.88$ اگر $x > 856.5$

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این بررسی مشاهده گردیـد کـه از لحاظ سرعت ظهور برگ در بین ارقام گندم اختلاف معنی‌داری یافـت نشد. نتایج این پژوهش در توافـق بـا یافتـه‌هـای سـایر پژوهشـگران (Kerby and Perry, 1987; McMasater *et al.*, 2003) بود، این محققین نشان دادند که سرعت ظهور برگ در بین ارقام گنـدم ثابـت بود. سرعت ظهور برگ یک ویژگی مهم است که نه تنها روی سرعت توسعه سطح برگ بلکـه روی زمـان رخـداد مراحـل نمـوی معـین در

غلات نیز اثر می‌گذارد (Kerby and Perry, 1987; McMasater *et al.*, 2003). از فاکتورهای محیطی، دما به‌عنوان فاکتور اولیه کنترل‌کننده سرعت ظهور برگ شناخته شده است (Ritchie and Smith, 1991). تحت شرایط مزرعه‌ای در تعدادی از مطالعات نشان داده شد که در شرایط مناسب رطوبت و تغذیه، سرعت ظهور برگ بر اساس درجه–روز رشد تجمعی در سراسر چرخه زندگی یک گیاه برای یک تاریخ کاشت معین ثابت بود ولی بین تاریخ‌های کاشت تغییر نمود (Ishag *et al.*, 1998). در برخی دیگر از مطالعات همچنین نشان دادند که سرعت ظهور برگ در یک تاریخ کاشت ثابت نبود و دارای دو فاز خطی بود (Hay and Delecolle, 1989)، این یافته‌ها منجر به استدلال‌هایی درباره سرعت ظهور برگ به مفهوم تنظیم سرعت ظهور برگ در دو مرحله شد. در بررسی‌های اخیر سایر محققین (Maddah-Yazdi *et al.*, 2008; Jafari, 2008) سرعت ظهور برگ را ۰/۰۱ برگ به ازای هر درجه–روز رشد گزارش کردند. این مطالعات در شرایط محیطی متفاوتی در مقایسه با این پژوهش انجام شدند و فاصله حرارتی بین ظهور دو برگ متوالی (فیلوکرون) بیشتر از نتایج گزارش شده در این مطالعه بود که البته دلیل آن انتخاب دمای پایه صفر درجه سلسیوس برای ارقام گندم بود که این عامل باعث افزایش مقدار فیلوکرون برای آنها شد. در محیط‌های گرمسیری در طی فصل رشد دمای هوا ممکن است به بالای ۳۵ درجه سلسیوس هم برسد، بیشتر مطالعه انجام شده روی سرعت ظهور برگ در عرض‌های جغرافیایی بالا در شمال اروپا (۵۵–۴۳درجه شمالی) و نیوزلند (۴۶–۴۱ درجه شمالی) و با دمای پایین انجام گرفتند. در مطالعه‌ای که در یک محیط گرمسیری مشابه با شرایط محیطی این پژوهش انجام شد، گزارش کردند که فاصله فیلوکرون در ارقام گندم بهاره از کاشت تا مرحله برجستگی دوگانه ۹۹ درجه–روز رشد و از مرحله برجستگی دوگانه تا مرحله گرده‌افشانی ۱۲۲ درجه–روز رشد بود (Ishag *et al.*, 1998). این مقادیر برای سرعت ظهور برگ در مناطق معتدله (۷۷ درجه–روز رشد (Frank and Bauer, 1995)،۸۰ درجه–روز رشد (Bauer *et al.*, 1984)، ۱۰۱ درجه–روز رشد (Kirby, 1988)، ۱۵۵ درجه–روز رشد (Biscoe and Willington, 1985) گزارش شد. برخی محققین علت بالا بودن مقدار فیلوکرون در محیط‌های گرمسیری را به دلیل دمای بالاتر از ۳۵ درجه سلسیوس گزارش کردند که در طی فصل رشد اتفاق افتاد (Ishag *et al.*, 1998). این نتایج همچین یافته‌های این پژوهش را که در یک شرایط گرمسیری به‌دست آمد را تأیید کرد و علاوه بر آن نتایج این پژوهش با یافته‌های دیگر محققین مطابقت داشت که بیان داشتند ارقام گندم که در دمای بالاتر رشد نمودند، فاصله فیلوکرون بالاتری نسبت به آن‌هایی که در دمای پایین رشد یافتند، داشتند (Cao and Moss, 1989). در توجیه این نکته که در دمای بالاتر فیلوکرون افزایش می‌یابد، این پژوهشگران بیان کردند که وقتی دما افزایش یابد، انرژی حرارتی بیشتری مورد نیاز است تا یک برگ تولید شود و راندمان حرارتی برگ‌ها (برگ‌ها در هر درجه–روز رشد) کاهش می‌یابد و این واکنش می‌تواند یکی از دلایلی باشد که چرا فیلوکرون با تاریخ کاشت و عرض جغرافیایی تغییر می‌کند (Cao and Moss, 1989). سایر مطالعات تحت شرایط اتاقک رشد و مزرعه نشان دادند که فیلوکرون با تاریخ کاشت، تعداد برگ در ساقه اصلی، مرحله فنولوژیکی و ژنوتیپ تغییر می‌کند (Sinclair *et al.*, 2004).

در یک مطالعه فاصله فیلوکرون ۷۵ درجه–روز رشد را برای مرحله هان ۲–۰، ۱۰۰ درجه–روز رشد را برای مرحله هان ۸–۲ و برای مرحله هان بیشتر از ۸ مقدار فیلوکرون ۱۲۰ درجه–روز رشد را گزارش کردند. بر اساس روش مذکور فیلوکرون دو برگ اول از همه کمتر است، که در واقع سرعت ظهور آنها بیشتر می‌باشد (Jamieson *et al.*, 1995). متوسط فیلوکرون در مطالعه‌ی دیگری، ۱۱۰ درجه–روز رشد بود و به مقدار اندکی بین ارقام تغییر کرد (Xue *et al.*, 2003).

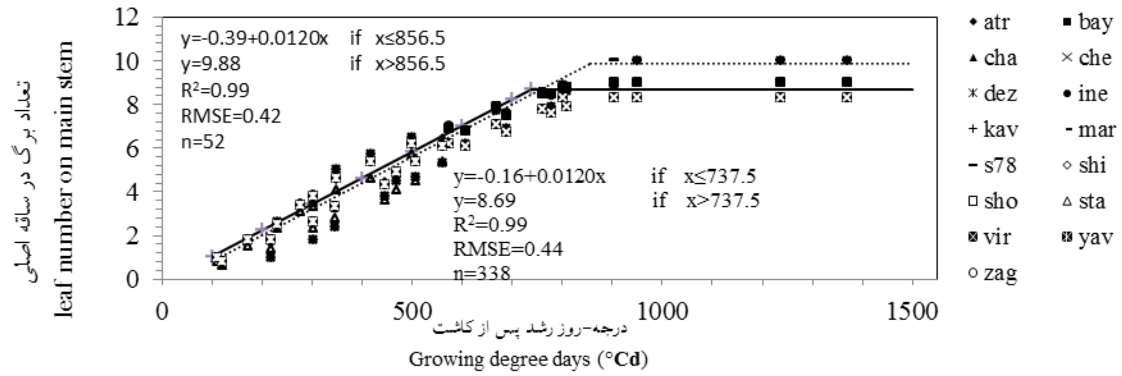
زمان توقف تولید مؤثر برگ در سال اول این پژوهش در مقایسه با سال دوم آن حدود ۴٪ کمتر بود. دلیل چنین امری احتمالاً وقوع دماهای بالاتر در سال دوم باشد که باعث تجمع واحدهای حرارتی بیشتر شده است.

تنها در دو رقم شیراز و استار در مقایسه با سایر ارقام زمان تا توقف تولید برگ مؤثر طولانی‌تر نشان دادند، ولی بین سایر ارقام اختلاف معنی‌دار در این خصوص مشاهده نشد. همان‌گونه که در جدول ۱ و شکل ۱ آمده است ارقام استار و شیراز پتانسیل تولید برگ بیشتری را نسبت به سایر ارقام نشان دادند، به گونه‌ای که در مقایسه با سایر ارقام (۱۳ رقم دیگر) روی ساقه اصلی یک برگ بیشتر تولید کردند، که طبعاً با توجه به عدم اختلاف معنی‌دار بین ارقام به لحاظ سرعت ظهور برگ و فیلوکرون زمان تا توقف تولید برگ طولانی‌تر در این دو رقم قابل انتظار است.

تعداد برگ تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی و شرایط محیط و اثر متقابل آنها است، ارقام دیررس برگ‌های بیشتری تولید می‌کنند. وراثت بیشتر از محیط تعداد برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ishag *et al.*, 1998). زمان توقف تولید برگ روی ساقه اصلی، تعداد کل برگ روی ساقه اصلی و به‌تبع آن زمان گلدهی را تعیین می‌کند. یک اختلاف برگی در پیش‌بینی ظهور برگ در گندم می‌تواند یک اثر مهم روی پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی به اندازه توسعه برگ داشته باشد. خطا در تخمین یک برگ برای پیش‌بینی ظهور برگ پرچم، باعث خطای چند روزه در پیش‌بینی گلدهی می‌شود (Borras *et al.*, 2003).

درباره زمان خاتمه تولید برگ در ساقه اصلی نیز سایر محققان اذعان داشتند که تغییرات فتوپریود تحت تأثیر تاریخ کاشت از طریق تعیین تعداد نهایی برگ در ساقه اصلی، بر زمان خاتمه ظهور برگ

(زمـان گلـدهی) در گنـدم تـأثیر مـی‌گـذارد (Volk and Bugbee, 1991). همچنین در مطالعه سرعت ظهور برگ در گیاه نخود عوامـل اصلی تأثیرگذار بر دوره مؤثر تولید برگ (زمان خاتمـه تولیـد بـرگ) را درجه حـرارت و فتوپریـود گـزارش کردنـد (Soltani *et al.*, 2006). افزایش خطی تعداد برگ در ساقه اصـلی در مقابـل درجـه-روز رشـد بـرای گیاهـان گنـدم (Cao and Moss, 1989; Bauer *et al.*, 1984)، نخود (Soltani *et al.*, 2006)، چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) (Sinclair *et al.*, 2004) و بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) (Massawe *et al.*, 2005) نیز گزارش گردیده است.



شکل ۱- برازش مدل رگرسیونی دو تکه‌ای (مدل ۳) برای تعداد برگ ساقه اصلی در برابر درجه-روز رشد برای ارقام مختلف گندم (atr: اترک، bay: بیات، cha: چمران، che: چناب، dez: دز، ine: اینیباء، kav: کویر، mar: مرودشت، S78: لاین S78-18 ، shi: شیراز، sho: شوا مالد (کرخه)، sta: استار، vir: ویریناک، yav: یاواروس و zag: زاگرس) در دو سال آزمایش (داده‌های دو سال ادغام شدند). خطوط منقطع مربوط به ارقام شیراز (shi) و استار (sta) و خطوط ممتد واکنش سایر ارقام را نشان می‌دهد (n تعداد مشاهدات، R^2 ضریب تبیین، RMSE جذر میانگین مربعات خطا)

Figure 1- Fit of a segmented non-linear regression model (see Eq. 3) to data of main stem leaf number vs. growing degree-days after sowing at two years of experiments (data were polled in the 2005-2007 experiments). (Broken line is related to shiraz (Shi) and star (sta) cultivars and solid line indicates response of other cultivars). (n, number of observation; R^2, Coefficient of determination; RMSE, Root Mean Squared Error)

پیری برگ در ساقه اصلی

کسر برگ پیر در ساقه اصلی در برابر درجه-روز رشد

برای بررسی پیری برگ از رابطه کسر برگ پیر در ساقه اصلی در مقابل درجه روز رشد استفاده شد (معادله ۴). بـین سـال‌هـا و ارقـام از لحاظ سرعت پیرشدن برگ (b) و زمان آغاز پیری (x_0) اختلاف وجود داشت، اما این اختلافات از لحاظ آماری در هر آزمایش معنی‌دار نبـود (داده‌ها نشان داده نشدند). در سال اول پژوهش آغاز پیری برگ‌هـای ساقه اصلی (x_0) در دامنه‌ای از ۴۱۰ تا ۵۹۵ درجـه-روز رشـد پـس از کاشت آغاز شد. پیری برگ‌ها در سال دوم از ۳۳۴ تا ۴۶۲ درجـه-روز رشد پس از کاشت آغاز شد. اختلاف بین ارقام در هر سال بـر حسـب دو سال پژوهش از نظر زمان شروع مرحله پیری (x_0) در ساقه اصـلی معنی‌دار نبود.

سرعت پیری برگ روی ساقه اصلی بر حسب رقم و سال آزمایش معنی‌دار نبود. متوسط سرعت پیری برگ در سال اول و دوم به‌ترتیـب ۰/۰۰۰۷۶ و ۰/۰۰۰۵۴ برگ به ازای هر درجه-روز رشد بود. در سـال دوم در مقایسه با سال اول سرعت پیری برگ حدوداً ۲۸ درصد کمتـر بود ولی این اختلاف از لحاظ آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار نبودنـد. بـا توجه به عدم اختلاف معنی‌دار از نظـر ضـرایب معادلـه ۴، بـا بـرازش معادله مذکور به کل داده‌ها (ادغام داده‌هـای دو سـال و رقـم) مقـدار CV، R^2 و RMSE به‌ترتیب، ۱۷/۱، ۰/۹۹ و ۰/۰۸ حاصل شد که بـا توجه به برازش مناسب معادله به کـل داده‌هـا، معادلـه ۷ از میـانگین ارقام و سال‌های پژوهش استخراج گردید که بـه صـورت زیـر اسـت (جدول ۲، شکل ۲):

$$y = 0 \quad \text{اگر} \quad x \leq 441.2 \qquad \text{(معادله ۷)}$$
$$y = 0.00065(x-441.2) \quad \text{اگر} \quad x > 441.2$$

بر اساس این رابطه، زوال برگ در سـاقه اصـلی در بـین ارقـام و سال‌های آزمایش به‌طور متوسط بعد از دریافت ۴۴۱/۲ درجه-روز رشد پس از مرحله پنجه‌زنی شروع شد و پس از این مرحله با افزایش یـک درجه-روز رشد، ۰/۰۶۵ درصد از برگ‌هـای سـاقه اصـلی زوال یافـت (شکل ۲).

با توجه به مراحل فنولـوژیکی در ارقـام مـورد بررسـی (داده‌هـای فنولوژی نشان داده نشدند) شروع مرحله پیری در ساقه اصلی مصادف با مراحل اولیه پنجه‌زنی در این ارقام بود که در این مرحلـه بـه دلیـل تولید پنجه‌ها و همچنین افزایش رقابت به خصوص رقابت بین بوته‌ها،

شروع زرد شدن و پیری برگ‌های پایینی بوته طبیعی به نظر می‌رسد. در سایر مطالعات نیز مشخص شد که زمان شروع زوال برگ در بین ارقام گندم متفاوت بود و شروع پیر شدن برگ‌ها در ساقه اصلی پس از ظهور ۶-۴ برگ، با توجه به خصوصیات رقم، روی ساقه اصلی شروع شد (Ishag *et al.*, 1998).

جدول ۲- پارامترهای مدل برازش داده شده به داده‌های کسر برگ پیر شده در ساقه اصلی در مقابل درجه روز رشد (معادله ٤) برای ارقام مختلف گندم در دو سال آزمایش (داده‌های دو سال ادغام شدند). b سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر شده در ساقه اصلی، x_0 زمان شروع پیر شدن در ساقه اصلی، n تعداد مشاهدات، R^2 ضریب تبیین، RMSE جذر میانگین مربعات خطا، SE اشتباه معیار و CV ضریب تغییرات هستند.

Table 2- Parameters of the model fitted to the fraction of senesced leaf on main stem vs. Growing degree-days (see Eq.4) for different wheat cultivars at two experiments (data were polled in the 2005-2007 experiments). b, the rate of increase in the fraction per unit increase in degree-days; x_0, the time when senescence starts on main stem (°C d); n, number of observation; R^2, Coefficient of determination; RMSE, Root Mean Squared Error; SE, standard error and CV, coefficient of variation.

b±SE	X_0± SE	RMSE	CV %	R^2	n	Cultivars ارقام
0.00066±0.00008	465.8±98.5	0.10	20.8	0.99	12	Atrak اترک
0.00063±0.00007	407.3±97.2	0.09	18.3	0.99	12	Bayat بیات
0.00063±0.00008	431.0±108.1	0.10	20.8	0.99	12	Chamran چمران
0.00066±0.00006	430.9±72.4	0.07	14.1	0.99	12	Chenab چناب
0.00065±0.00007	431.4±96.3	0.09	18.3	0.99	12	Dez دز
0.00063±0.00007	380.1±98.3	0.08	16.4	0.99	12	Ineia اینییاء
0.00061±0.00007	374.9±106.5	0.09	17.9	0.99	12	Kavir کویر
0.00067±0.00007	414.4±87.9	0.08	16.1	0.99	12	Marvdasht مرودشت
0.00058±0.00007	403.4±109.4	0.09	19.4	0.99	12	S78-18
0.00063±0.00006	429.1±80.1	0.07	14.7	0.99	12	Shiraz شیراز
0.00070±0.00007	490.7±83.2	0.09	18.3	0.99	12	Shoa شوا
0.00065±0.00008	512.8±100.2	0.10	22.7	0.99	12	Star استار
0.00067±0.00007	490.7±88.6	0.09	19.0	0.99	12	Virinak ویریناک
0.00068±0.00008	506.7±96.5	0.10	21.7	0.99	12	Yavarous یاواروس
0.00069±0.00006	430.9±78.8	0.24	46.2	0.99	12	Zagrous زاگرس
0.00065±0.00002	441.2±23.1	0.08	17.1	0.99	180	Total data مجموع داده‌ها

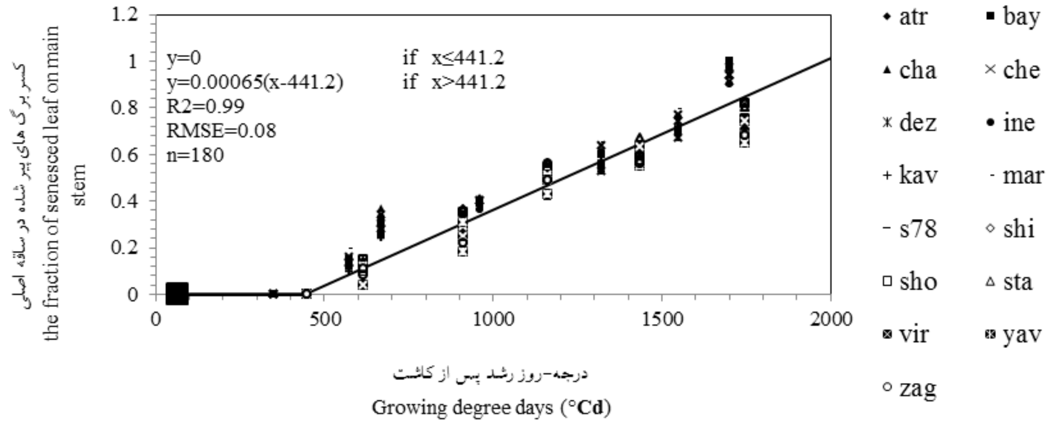
در سه آزمایش از چهار آزمایش مورد بررسی در مطالعه تولید و پیری برگ در گیاه نخود، کسر برگ پیر در ساقه اصلی در برابر درجه-روز رشد و روز بیولوژیکی (روز اصلاح شده از نظر حرارت و فتوپریود) در گیاه نخود با مدل رگرسیون غیر خطی دوتکه‌ای نتایج معقولی ارائه داد و از لحاظ زمان شروع و سرعت زوال برگ در ساقه اصلی در بین تاریخ‌های کاشت اختلاف معنی‌دار وجود نداشت (Soltani *et al.*, 2006). به علت اهمیّت فتوسنتز در گیاه، مدل‌سازی پیر شدن برگ در ساقه اصلی و بوته را بسیار مهم و کاربردی است (Hammer *et al.*, 1987). برگ‌ها اصلی‌ترین اندام فتوسنتزکننده گیاه هستند و بررسی نمو آن به خاطر اثرات مستقیم و غیر مستقیم آنها به‌ویژه بر عملکرد دانه ضروری به نظر می‌رسد (Benbella and Paulsen, 1998). در بررسی ارقام ذرت (*Zea mays* L.) مشخص شد که پیری برگ‌ها در حدود ۴۰۰ تا ۴۵۰ درجه-روز رشد پس از کاشت شروع شد و تراکم‌های مختلف کاشت، فاصله ردیف و مقدار تشعشع قبل از مرحله ۹-۶ برگی ذرت اثری روی شروع پیری برگ‌های پایینی بوته نداشتند (Borras *et al.*, 2003). کسر برگ‌های پیر شده به‌عنوان تابعی از زمان حرارتی بهترین توصیف را از پیری برگ‌ها روی محورهای انفرادی بوته‌های سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) ارائه کرد و برگ‌ها در فواصل زمان حرارتی ثابتی پیر شدند. محورهای با تعداد برگ بیشتر، تعداد بیشتری از برگ‌های پایینی خود را نسبت به محورهای با تعداد کل برگ کمتر از دست دادند و علت آن را به افزایش رقابت به دلیل سایه‌اندازی منتسبت نمودند (Carberry *et al.*, 1993).

با مقایسه روابط ظهور (تولید) و پیری (زوال) برگ در ساقه اصلی به نظر می‌رسد که این دو فرآیند در سه مرحله انجام گرفتند به طوری که با ادغام داده‌ها مشخص شد که بعد از ۱۰۸/۵ درجه-روز رشد پس از کاشت (زمان سبز شدن لیگول برگ اول در دو سال در همه ارقام) تولید برگ شروع شد و تا ۴۴۱/۵ درجه-روز رشد پس از کاشت (مرحله اول بدون پیری برگ) ادامه یافت. در مرحله دوم تولید و زوال برگ همزمان با هم صورت گرفتند و از ۴۴۱/۵ درجه-روز رشد (اوایل

پنجه‌زنی) تا مرحله توقف تولید برگ مؤثر در ساقه اصلی یعنی ۸۵۶/۵ درجه-روز رشد (زمان ظهور کامل برگ پرچم) به‌ترتیب برای ارقام شیراز و استار و ۱۳ ارقام دیگر ادامه یافت، به طوری که پیر شدن برگ‌ها در ساقه اصلی با سرعتی (۰/۰۶۵ درصد برگ پیر شده برای هر درجه-روز رشد) کمتر از سرعت تولید برگ (۰/۰۱۲ برگ بر درجه-روز رشد) انجام شد و پس از مرحله زمان توقف تولید مؤثر برگ در ساقه اصلی، تولید برگ در ساقه اصلی متوقف و تنها زوال برگ‌ها (مرحله سوم بدون تولید برگ) ادامه داشت (شکل ۱ و ۲). در بررسی اثر تراکم بر تولید و زوال برگ‌ها در دو رقم گندم زاگرس و تجن نشان دادند که سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر در ساقه اصلی ۰/۰۰۰۷۱ برگ به ازای هر درجه-روز رشد و زمان شروع زوال در ساقه اصلی ۵۴۸ درجه-روز رشد پس از کاشت بود و بین تراکم‌های مختلف از نظر این دو صفت اختلاف معنی‌دار گزارش شد و با افزایش تراکم زمان شروع پیری (x_0) در ساقه اصلی و سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر شده در ساقه هر دو کاهش یافتند و علت این امر را سایه‌اندازی و رقابت درون گیاهی بیشتر، در تراکم‌های بالا ذکر کردند (Jafari, 2008).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، پارامترهای مربوط به پیری و زوال برگ در ارقام گندم مورد بررسی به استثنای زمان توقف تولید برگ در بوته تفاوت معنی‌دار نداشتند. پتانسیل سطح برگ بوته می‌تواند از حاصلضرب ظهور و پیری برگ و حداکثر اندازه برگ‌ها یا به‌طور مستقیم از تعداد برگ در ساقه اصلی، تعداد برگ سبز در بوته و وزن خشک برگ پیش‌بینی شود. این مطالعه تولید و پیری برگ را تحت شرایط آبیاری مطلوب توصیف می‌کند و همچنین این روابط اثرات میزان دسترسی به کربن و نیتروژن و انتقال مجدد را نشان نمی‌دهد، بنابراین روابط دیگری برای پیش‌بینی این اثرات مورد نیاز هستند تا ثبات و پویایی این پارامترهای را تحت شرایط مختلف محیطی مشخص نمایند.



شکل ۲- برازش مدل رگرسیون دو تکه‌ای غیر خطی (مدل ٤) به داده‌های کسر تعداد برگ‌های پیر (تعداد برگ پیر به کل برگ در ساقه اصلی) بر روی ساقه اصلی در مقابل درجه-روز رشد برای ارقام مختلف گندم (atr: اترک، bay: بیات، cha: چمران، che: چناب، dez: دز، ine: اینیباء، kav: کویر، mar: مرودشت، S78: لاین S78-18 ، shi: شیراز، sho: شوا مالد (کرخه)، sta: استار، vir: ویریناک، yav: یاواروس و zag: زاگرس) در دو سال آزمایش (داده‌های دو سال ادغام شدند). (n تعداد مشاهدات، R^2 ضریب تبیین، RMSE جذر میانگین مربعات خطا)

Figure 2- Fit of a segmented non-linear regression model (see Eq. 4) to data of the fraction of senesced leaf on main stem vs. growing degree-days after sowing at (b) and average of different cultivars at two years of experiments (data were polled in the 2005-2007 experiments).(n, number of observation; R^2, Coefficient of determination; RMSE, Root Mean Squared Error)

References

1. Baker, C. K., Pinter, P. J., Reginato, R. J., and Kanemasu, E. T. 1986. Effects of temperature on leaf appearance in spring and winter wheat cultivars. Agronomy Journal 78: 605-613.
2. Bauer, A., Frank, A. B., and Black, A. L. 1984. Estimation of leaf growth and anthesis from air temperature. Agronomy Journal 76: 829- 835.
3. Benbella, M., and Paulsen, G. M. 1998. Efficacy of treatments for delaying senescence of wheat leaves: II. Senescence and grain yield under field conditions. Agronomy Journal 90: 332-338.
4. Birch, C. J., Andrieu, B., Fournier, C., and Room, I. V. P. 2003. Modelling kinetics of plant canopy architecture-

/concepts and Applications. European Journal of Agronomy. 19: 519- 533.
5. Biscoe, P. V., and Willington, V. B. A. 1985. Crop physiological studies in relation to mathematical models. In: Day, W., Atkin, R.K. (Eds.), Wheat Growth and Modelling. Plenum Press, New York, pp. 57-269.
6. Borras, L., Maddonni, G. A., and Otegui, M. E. 2003. Leaf senescence in maize hybrids: plant populations, row spacing and kernel set effects. Field Crops Research 82: 13-26.
7. Cao, W., and Moss, D. N. 1989. Temperature effect on leaf emergence and phylochron in wheat and barley. Crop Science 29: 1018-1021.
8. Carberry, P. S., Hammer, G. L., and Muchow, R. C. 1993. Modelling genotypic and environmental control of leaf area dynamics in grain sorghum. II. Individual leaf level. Field Crops Research 33: 311-328.
9. Frank, A. B., and Bauer, A. 1995. Pyllochron differences in wheat, barley, and forage grasses. Crop Science 35: 19-23.
10. Hammer, G. L., Hill, K., and Schrodter, G. N. 1987. Leaf area production and senescence of diverse grain sorghum hybrids. Field Crops Research 17: 305-317.
11. Haun, J. R. 1973. Visual quantification of wheat development. Agronomy Journal 65: 116-119.
12. Hay, R. K. M., and Delecolle, R. 1989. The setting of rates of development of wheat plants at crop emergence: Influence of the environment on rates of leaf appearance. Annals of Applied Biology 115: 333-341.
13. Ishag, H. M., Mohamed, B. A., and Ishag, K. H. M. 1998. Leaf development of spring wheat cultivars in an irrigated heat-stressed environment. Field Crops Research 58: 167-175.
14. Jafari, M. 2008. Modeling the effect of density on wheat leaf production and senescence. MSc thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural resources. Iran. 94 pp. (in Persian with English abstract).
15. Jamieson, P. D., Brooking, I. R., Porter, J. R., and Wilson, D. R. 1995. Prediction of leaf appearance in wheat: A question of temperature. Field Crops Research 41: 35-44.
16. John R., Porter, J. R., and Gawith, M. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. European Journal of Agronomy 10 (2): 23-36.
17. Kiniry, J. R. 1991. Maize phasic development. In: Hanks, RJ., and J.T. Ritchie. (Eds), Modeling Plant and Soil Systems. ASA, CSSA, and SSSA, Madisom, WI. pp: 55-69.
18. Kirby, E. J. M. 1990. Co-ordination of leaf emergence and leaf and spikelet primordium initiation in wheat. Field Crops Research 25: 253-264.
19. Kirby, E. J. M., and Perry, M. W. 1987. Leaf emergence rates of wheat in a Mediterranean environment. Australian Journal of Agricultural Research 38: 455-464.
20. Kirby, E. J. M. 1988. Analysis of leaf, stem and ear growth in wheat from terminal spikelet stage to anthesis. Field Crops Research 18: 127-140.
21. Klepper, B., Rickman, R. W., and Peterson, C. M. 1982. Quantitative characterization of vegetative development in small cereal grains. Agronomy journal 74: 789-792.
22. Maddah-Yazdi, V., Soltani, A., Kamkar, B., and Zeinali, E. 2008. Comparative physiology of wheat and chickpea: leaves production and senescence. Journal of Agricultural Science and Natural Resources 15 (4): 36-44. (in Persian).
23. Massawe, F. J., Azam, S. N., and Roberts, A. 2005. The impact of temperature on leaf appearance in bambara groundnut landraces. Crop Science 43: 1357-1379.
24. McMaster, G. S., Wilhelm, W. W., Palic, D. B., Porter, J., and Jamieson, P. D. 2003. Spring Wheat Leaf Appea rance and Temperature: Extending the Paradigm? Annals of Botuny 91: 697-705.
25. McMaster, G. S., and Wilhelm, W. W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretation. Agricultural and Forest Metrology 87: 289-298.
26. Ritchie, J. T., and Otter, S. 1985. Description and performance of CERES-Wheat: a user-oriented wheat yield model. In: ARS Wheat Yield Project, Tech. Info. Service Springfield, Missouri. Pp. 159-175.
27. Ritchie, J. T., and Smith, D. S. 1991. Temperature and crop development. In: Hanks, R.J., Ritchie, J.T (Eds.), Modeling Plant and Soil Systems. Agronomy No. 31, pp. 5-29.
28. Robertson, M. J., Carberry, P. S., Huth, N. R., Turpin, J. E., Probert, M. E., Poulton, P. L., Bell, M., Wright, G. E., Yeates, S. J., and Brinsmead, R. B. 2002. Simulation of growth and development of diverse legume species in APSIM. Australian Journal of Agricultural Research 53: 429-446.
29. Schulz, E. D., Beck, E., and Hohenstein, K. M. 2005. Plant Ecology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
30. Sinclair T. R., Gilbert, R. A., Perdomo, R. E., Shine, J. M., Powell, G., and Montes, G. 2004. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. Field Crops Research 88: 171-178.
31. Sinclair, T. R., and Jamieson, P. D. 2006. Grain number, wheat yield, and bottling beer: An analysis. Field Crops Research 98: 60-67.
32. Slafer, G. A., and Savin, R. 1991. Developmental Base Temperature in Different Phenological Phases of Wheat (*Triticum aestivum*). Journal of Experimental Botany 42 (241): 1077-1082.
33. Slafer, G. A., and Rawson, H. M., 1995. Photoperiod×temperature interactions in contrasting wheat genotypes:

time to heading and final leaf number. Field Crops Research 44: 73-83.
34. Soltani, A. 2007. Application of SAS in Statistical Analysis, JMD Press, Mashhad, Iran, 182 p. (in Persian).
35. Soltani, A., Robertson, M. J., Mohammad-Nejad, Y., and Rahemi-Karizaki, A. 2006. Modeling chickpea growth and development: Leaf production and senescence. Field Crops Research 99: 14-23.
36. Streck, N. A., Weiss-Xue, Q., and Baenziger, P. S. 2003. Incorporating a chronology Response into the Predicting of leaf appearance Rate in winter wheat. Annals of Botany 92: 843-892.
37. Volk, T., and Bugbee, B. 1991. Modeling leaf emergence rate in wheat and barley. Crop Science 31: 189-224.
38. Xue, Q., Weiss, A., and Baenziger, P. S. 2004. Predicting leaf appearance in field grown winter' wheat: evaluating liner and non-liner models. Ecological Modelling 175: 261-270.
39. Zadoks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. 1974. Decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14: 415-422.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 447-458

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۵۸-۴۴۷

Quantifying Leaf Development of Different Wheat Cultivars: I- Production and Senescence of Main Stem Leaves in the Field

J. Pourreza[1*]- A. Soltani[2]

Received: 23-06-2017
Accepted: 25-11-2017

Introduction

A major component in a crop growth model is leaf area development, which has crucial influence on photosynthesis and transpiration. Leaf area development involves the appearance of new leaves, expansion of the newly emerged leaves and senescence of old leaves. Modeling of the leaf growth has been extensively studied in many crops including cereals. Methods of predicting leaf area development are diverge from those dealing with the individual component processes of leaf growth viz. leaf appearance, leaf expansion and leaf death to the models predicting leaf growth at the whole plant or whole crop levels. Leaf appearance and expansion are most sensitive growth processes to environmental conditions and their dependence on temperature revealed in a range of cereals including wheat and barley and legumes including cowpea and soybean. Effects of temperature on leaf appearance rates are usually quantified using some form of thermal time. Air temperature above the canopy has most frequently been used to calculate thermal time. Genetic differences in senescence have also been reported among crop genotypes. Quantitative information regarding leaf area development in wheat especially in environmental conditions with high temperatures for the purpose of crop modeling is scarce. Furthermore, genotypic variations have not been evaluated. Therefore, the goal of this research was to determine parameters related to leaf production and senescence in wheat cultivars in warm environmental conditions.

Materials and Methods

The aim of this study was to quantify leaf production and senescence of 15 different wheat cultivars. Two field experiments with 15 wheat cultivars (Atrak, Bayat, Chamran, Chenab, Dez, Ineia, Kavir, Marvdasht, Shiraz, S78-18, Yavaroos and shova-Mald) were conducted at the research farm of the Islamic Azad University of Ramhormoz Branch, south-western of Iran in 2005-6 and 2006-7 using a randomized complete block design with four replications. The relationship between main stem leaf numbers (HS) versus degree-days was described using bi-linear regression model.

Results and Discussion

The results indicated that leaf production on main stem started with receiving 108.5 degree-days after sowing. The leaf appearance rate and along with it phyllochron had no significant across all data. Mean leaf appearance rate ranged from 0.0047 to 0.0082 leaf/˚Cd. At 13 out of 15 cultivars. The cession time (degree-days) of effective leaf production on main stem was not significantly different and ranged from 831.0 to 852.0 ˚C d. Leaf senescence on the main stem started when the main stem had about 4-6 leaves and proceeded at a rate of 0.065 % per each unit increase in degree-days. The relationships found in this study can be used in simulation models of wheat.

1- Assistant Professor, Department of Agriculture, Rmhormoz branch, Islamic Azad University, Ramhormoz, Iran
2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Gorgan Universityof Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran
(*- Corresponding Author Email: J_pourreza@yahoo.com)

Conclusions

Based on results, there was no significant difference between wheat cultivars in terms of parameters related to leaf production and senescence on main stem except the time of cessation of the linear increase in leaf number on main stem. The relationships presented in this study describe leaf production and senescence under well-watered condition and reflect the effects of carbon and nitrogen availability and remobilization under these conditions. However, they do not account for the effects of shortage of carbon, nitrogen or water on leaf development. Other relationships are required to predict these effects.

Keywords: Growing Degree Days, Haun leaf stage, Leaf appearance, Modeling, Senesced leaf fraction